

Pencernaan Campuran Limbah Vinase dan Limbah Cair Tahu untuk Meningkatkan Produksi Biogas

Co-Digestion of Vinasse Waste and Tofu Liquid Waste to Increase Biogas Production

Iqbal Syaichurrozi^{a*}, Rusdi^a

^a*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia*

Artikel histori :

Diterima 3 November
Diterima dalam revisi 3 November 2015
Diterima 4 November 2015
Online 1 Desember 2015

ABSTRAK: Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan produksi biogas dengan konsep pencernaan campuran. Limbah vinasse (LV) yang memiliki kandungan tinggi COD dan rendah nitrogen dicampur dengan limbah cair tahu (LCT) yang memiliki kandungan rendah COD dan tinggi nitrogen. Substrat divariasikan dalam perbandingan volume LV:LCT sebesar 100:0, 20:80, 0:100. Jumlah volume substrat 250 mL. Digester anaerobik dioperasikan pada suhu kamar. Setelah dilakukan fermentasi diperoleh total biogas pada variasi 100:0, 20:80, 0:100 sebanyak 88,5; 125,5; 41,5 mL. pH awal untuk semua variabel diatur 7,0. Pada akhir fermentasi, pH substrat menjadi 3,9; 5,1; 6,8 pada masing-masing variabel 100:0, 20:80, 0:100

Kata Kunci: *Biogas, Limbah Cair Tahu, Limbah Vinase, Pencernaan Campuran*

ABSTRACT: The purpose of this study was to increase biogas production using co-digestion concept. Vinasse Waste (VW) containing high COD and low total Nitrogen content was mixed with Tofu Liquid Waste (TLW) containing low COD and high total Nitrogen. Substrates were varied with volume ratio of VW:TLW of 100:0, 20:80, 0:100. Total volume of substrates was 250 mL. Anaerobic digesters were operated at room temperature. After fermentation, biogas total volume of variables of 100:0, 20:80, 0:100 was 88.5; 125.5; 41.5 mL. Initial pH for all variables was 7.0. At the end of fermentation, pH substrates became 3.9; 5.1; 6.8 for variables of 100:0, 20:80, 0:100 respectively.

Keywords: *Biogas, Tofu Liquid Waste, Vinasse Waste, Co-digestion*

1. Pendahuluan

Vinase adalah limbah produksi bioetanol yang merupakan produk bawah (*bottom product*) dari unit distilasi (Syaichurrozi *et al.*, 2013, 2015). Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dalam vinase dapat mencapai lebih dari 200.000 mg/L (Syaichurrozi *et al.*, 2013). Kandungan COD yang tinggi ini menyebabkan vinase tidak dapat dibuang langsung ke badan air (sungai). Pada industri bioetanol, produksi 1 liter bioetanol akan menghasilkan berkisar 8-15 liter vinase (Syaichurrozi *et al.*, 2013). Ditambah lagi, produksi bioetanol dunia diprediksi mengalami kenaikan yang sangat signifikan hingga tahun 2017 mendatang (Gambar 1) (FAPRI, 2008).

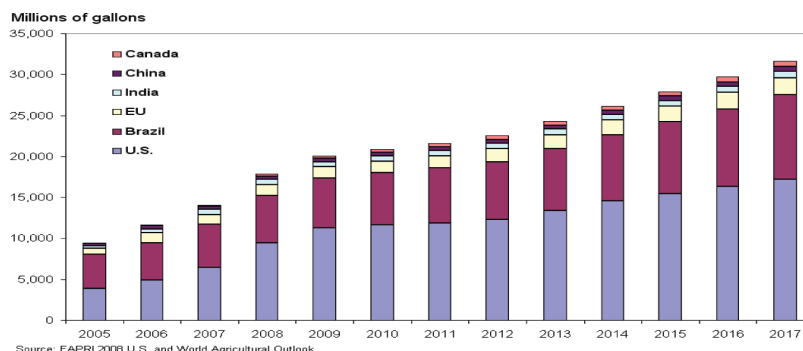
Industri bioetanol mencari teknologi pengolahan vinase yang efektif, bukan hanya bagi lingkungan tetapi juga biaya (Andreozzi *et al.*, 1999). Beberapa peneliti telah melakukan kajian pengolahan vinase dengan cara kimia dan biologi tetapi biaya pengolahan mahal serta menghasilkan racun saat proses pengolahan. Sedangkan pengolahan menggunakan digester anaerobik dapat

menghasilkan energi dan tidak menghasilkan polusi (Tang *et al.*, 2007). Syaichurrozi *et al.* (2013) menjelaskan bahwa pengolahan limbah dengan digester anaerobik akan mengkonversi kandungan COD menjadi energi *renewable* biogas.

Beberapa penelitian telah difokuskan pada pengolahan limbah vinase menjadi biogas. Akan tetapi biogas yang dihasilkan belum maksimal. Salah satu penyebabnya adalah kandungan COD yang sangat tinggi tetapi kandungan nitrogen yang sangat rendah. Syaichurrozi *et al.* (2013, 2014) dan Budiyono *et al.* (2014) melaporkan bahwa rasio COD:N dalam vinase sangat tinggi yaitu 1436:7. Menurut Speece (1996) rentang COD:N optimal untuk produksi biogas adalah 350:7 sampai 1000:7. Untuk mendapatkan COD:N optimal dapat dilakukan dengan cara: (1) menambahkan sejumlah pupuk urea sebagai sumber nitrogen atau (2) mencampurkan dua jenis limbah (konsep *co-digestion*) yang memiliki rasio COD:N tinggi dengan limbah rasio COD:N rendah. Syaichurrozi *et al.* (2013, 2014) dan Budiyono *et al.* (2014) telah mengkaji penambahan pupuk urea sebagai sumber nitrogen, tetapi

*Corresponding Author: +6285641679534
Email: iqbalsyaichurrozi@gmail.com

belum pernah ada peneliti yang melakukan proses *co-digestion* berbasis vinase.



Gambar 1. Produksi bioetanol dunia

Limbah yang paling tepat sebagai pencampur vinase adalah limbah cair tahu, karena limbah ini mengandung rasio COD:N yang sangat rendah yaitu 203:7 (Myrasandri dan Syafila, 2012). Di Indonesia, industri tahu banyak beroperasi, terutama di Pulau Jawa. Menurut data BPPT (2014), untuk menghasilkan 80 kg tahu, limbah cair yang dihasilkan sebanyak 2610 kg. Berdasarkan data tersebut, limbah whey sangat berlimbah di Indonesia. Pemanfaatan limbah whey sebagai sumber nitrogen bagi vinase mempunyai beberapa keuntungan yaitu:

1. Menurunkan biaya operasi
2. Memanfaatkan limbah cair tahu yang dapat mencemari lingkungan sebagai sumber nitrogen
3. Menghasilkan biogas yang lebih tinggi dibandingkan dari bahan baku tunggal (vinasse saja atau limbah cair tahu saja).

Penelitian *co-digestion* limbah vinasse dan limbah tahu belum pernah dilakukan oleh peneliti lain. Selama ini penelitian hanya difokuskan pada pengolahan limbah tunggal yaitu vinasse. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian rasio komposisi umpan limbah vinasse: limbah cair tahu terhadap produksi biogas.

2. Metode Penelitian

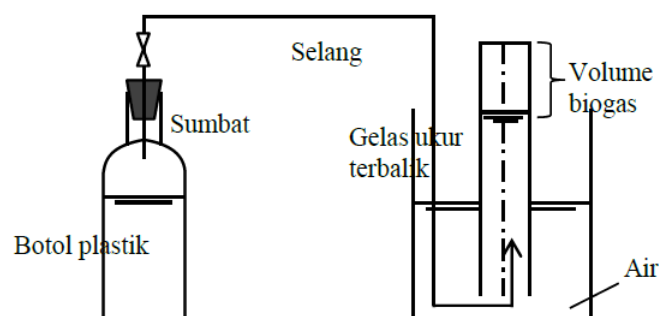
2.1 Limbah dan Inokulum

Limbah yang digunakan adalah vinasse yang diperoleh dari industri etanol yang berlokasi di daerah Solo, Jawa Tengah, Indonesia. Industri etanol memproduksi etanol secara fermentasi dari bahan baku molasses. Menurut Syaichurrozi et al. (2013), limbah vinase yang dihasilkan dari industri etanol berbahan baku molase di Indonesia mengandung 299.250 mg/L COD, 1.458,7 mg/L total Nitrogen, Rasio COD/N = 1436/7. Sementara itu, limbah cair tahu didapatkan dari industri produksi tahu di daerah Serang, Propinsi Banten, Indonesia. Menurut Myrasandri dan Syafila (2012) limbah cair tahu di Indonesia mengandung 8640 mg/L COD, 297,5 mg/L total Nitrogen, Rasio COD/N = 203/7 Cairan rumen sapi digunakan sebagai inokulum pada penelitian ini. Cairan rumen yang

masih *fresh* diperoleh dari Rumah Pemotongan Hewan (RPH) di Serang, Propinsi Banten, Indonesia.

2.2 Experimental set up

Digester anaerobik dibuat pada skala laboratorium menggunakan jerigen plastik bervolume 250 mililiter. Jerigen ditutup menggunakan sumbat karet untuk menjaga kondisi tetap hampa udara. Digester di operasikan pada sistem batch dan suhu kamar. Biogas yang terbentuk diukur melalui *liquid displacement method*. Secara detail digester anaerobik skala laboratorium dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian biodigester skala laboratorium

2.3 Experimental Design

Penelitian ini difokuskan pada kajian pengaruh *co-digestion* (pencernaan campuran) terhadap produksi biogas dibandingkan pencernaan bahan tunggal. Oleh karena itu variabel yang diteliti ada tiga jenis (Tabel 1).

2.4 Experimental Procedures

Biogas yang terbentuk diukur setiap dua hari sekali untuk mengetahui produksi biogas harian. pH substrat selama fermentasi juga diukur menggunakan pH meter untuk mengetahui profil pH selama fermentasi.

Tabel 1. Variasi substrate

Run	LV:LCT	LV (mL)	LCT (mL)	Rumen (mL)	COD/N
1	100:0	250	0	25	1436/7 ^a
2	20:80	50	200	25	882/7 ^{a,b}
3	0:100	0	250	25	203/7 ^b

Keterangan: LV = Limbah Vinasse, LCT = Limbah Cair Tahu

Diadaptasi dari literatur: a = Syaichurrozi et al. (2013), b = Myrasandri dan Syafla (2012)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Produksi Biogas

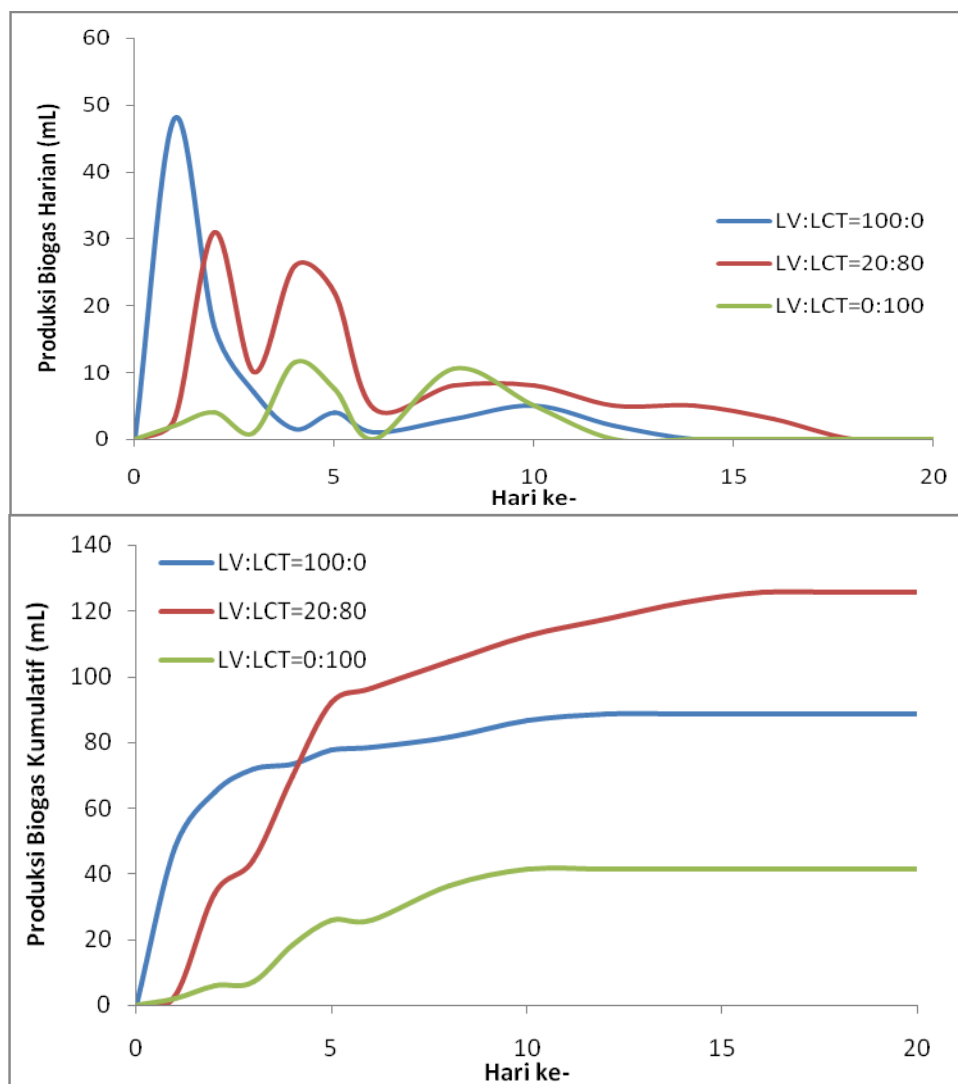
Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh limbah di dalam badan air agar dapat dioksidasi melalui reaksi kimia. Protein, asam amino dan urea merupakan sumber nitrogen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk membangun struktur sel (Syaichurrozi et al., 2014). Rasio COD:N pada substrat merupakan parameter yang penting agar biogas yang dihasilkan dapat maksimal. Rentang COD:N yang baik untuk produksi biogas menurut Speece (1996) adalah 350:7 sampai 1000:7. Jika perbandingan COD dengan N diluar rentang tersebut maka pertumbuhan bakteri di dalam digester akan terhambat.

Syaichurrozi et al. (2013) melaporkan bahwa vinasse mengandung banyak karbohidrat (COD). Pada proses pencernaan karbohidrat, bakteri asam memproduksi asam asetat, gas hidrogen, karbon dioksida and VFAs (asam propionat dan asam butirat). Keadaan ini menghambat aktivitas bakteri khususnya bakteri pembentuk metana (Speece, 1996). Konsentrasi VFAs (Volatile Fatty Acids) di dalam digester tidak boleh lebih dari 2000 mg/L agar proses fermentasi berjalan normal (Yadvika et al., 2004). Pada penelitian ini, substrat limbah vinase menghasilkan biogas lebih sedikit (88,5 mL) daripada pencernaan limbah campuran (*co-digestion*) (125,5 mL).

Limbah cair tahu mengandung banyak protein (total nitrogen). Protein didalam substrat akan terdekomposisi menjadi ammonia/ammonium. Ammonia (NH₃)/ammonium (NH₄⁺) dapat digunakan oleh bakteri sebagai sumber nitrogen (Sung dan Liu, 2003). Akan tetapi ammonia dan ammonium dapat menjadi racun bagi bakteri pada jumlah tertentu. Menurut Deublein dan Steinhäuser (2008), konsentrasi ammonia 80 mg/L sudah mulai menghambat pertumbuhan dan konsentrasi 150 mg/L akan bersifat racun bagi bakteri. Bakteri pembentuk metana memiliki toleransi yang paling rendah dan paling mudah mati terhadap ammonia di antara empat bakteri di dalam empat tahap

pembentukan biogas yaitu hidrolisa, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis (Kayhanian, 1994). Ammonia akan menjadi ion ammonium didalam substrat tergantung kondisi pH. Ammonium memiliki sifat yang tidak berbahaya kecuali pada konsentrasi yang sangat tinggi. Konsentrasi ammonium 1500-10000 mg/L sudah mulai menghambat pertumbuhan bakteri dan konsentrasi 30000 mg/L bersifat racun bagi bakteri (Deublein dan Steinhäuser, 2008). Limbah cair tahu memiliki rasio COD/N = 203/7. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair tahu mengandung banyak sumber nitrogen. Oleh karena itu, pada penelitian ini, pencernaan limbah cair tahu menghasilkan biogas dalam jumlah yang paling sedikit yaitu 41,5 mL. Sementara itu pada pencernaan campuran menghasilkan biogas sebesar 125,5 mL (Gambar 3).

Mata-Alvarez et al. (2000) melaporkan bahwa substrat yang mengandung banyak karbohidrat merupakan panghasil VFAs terbaik sedangkan substrat dengan kandungan protein yang banyak merupakan penghasil ammonium. Jika rasio karbohidrat (COD) dan protein (N) tepat, biogas akan diproduksi dalam jumlah banyak. Sumber nitrogen dapat diperoleh dari limbah lain yang mengandung tinggi total Nitrogen dan rendah kadar COD nya. Pada penelitian ini, limbah cair tahu ditambahkan kedalam limbah vinasse sebagai sumber nitrogen. Campuran limbah vinasse dan limbah cair tahu memiliki rasio COD/N sebesar 882/7. Pencernaan campuran (*co-digestion*) menghasilkan biogas lebih banyak dibandingkan pencernaan limbah tunggal (limbah vinasse saja atau limbah cair tahu saja). Pencernaan campuran vinasse dan limbah cair tahu (COD/N = 882/7) memproduksi biogas sebesar 125,5 mL. Sementara pencernaan substrat limbah vinasse (COD/N = 1436/7) hanya menghasilkan biogas sebanyak 88,5 mL dan pencernaan limbah cair tahu (COD/N = 203/7) hanya menghasilkan biogas sebanyak 41,5 mL (Gambar 3). Hasil ini sesuai dengan pernyataan Speece (1996) dimana rasio COD/N antara 350/7 – 1000/7 menghasilkan biogas yang lebih banyak daripada substrat yang memiliki rasio COD/N diluar rentang tersebut.



Gambar 3. Peoduksi Biogas (a) harian dan (b) kumulatif pada berbagai komposisi LV:LCT
Keterangan: LV = Limbah Vinase, LCT = Limbah Cair Tahu

3.2 Profil pH

Elbeshbishy dan Nakhla (2012) melaporkan bahwa penurunan pH disebabkan karena produksi VFAs yang sangat banyak pada awal proses fermentasi, kemudian pH akan mengalami kenaikan pada hari ke-3 hingga hari ke-10. Kenaikan pH ini disebabkan karena $\text{NH}_4\text{-N}$ yang terbentuk selama degradasi protein. Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) bereaksi dengan air membentuk *ammonium bicarbonate* ($\text{NH}_4\text{-N}$), sebuah buffer pH alami.

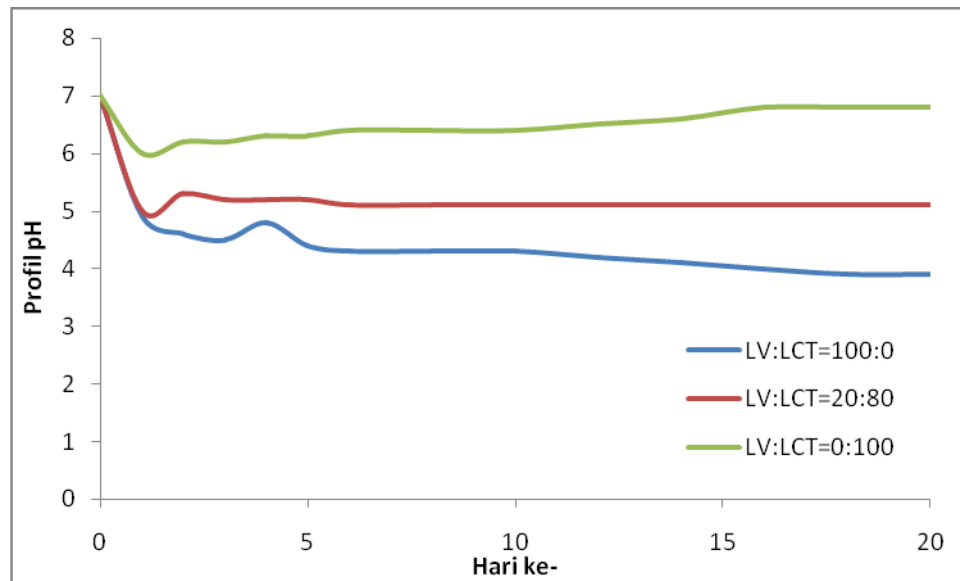
Akan tetapi pada pencernaan limbah vinase, pH menurun dari awal hingga akhir proses. Vinase banyak mengandung senyawa molekular rantai pendek sehingga di dalam digester, senyawa molekular rantai pendek mudah dihancurkan oleh bakteri pembentuk asam menjadi VFAs. Akumulasi produksi VFAs menyebabkan pH substrat mengalami penurunan yang drastis dan *methanogenic bacteria* akhirnya mati. Ammonium yang dihasilkan saat degradasi protein tidak dapat menaikkan pH karena VFAs yang dihasilkan sangat cepat dan dalam jumlah banyak.

Pada penelitian ini pH substrat pada pencernaan vinase mengalami penurunan yang terus menerus dari 7,0 sampai 3,9 di akhir fermentasi (Gambar 4).

Sementara itu limbah cair tahu, mengandung banyak total nitrogen (protein), sehingga selama pencernaan, substrat menghasilkan banyak ammonium. Akumulasi ammonium di dalam sistem, menaikkan pH secara perlahan. Pada Gambar 4, profil pH pada pencernaan limbah cair tahu menunjukkan bahwa pH mengalami penurunan di awal pencernaan dari hari ke-0 sampai hari ke-3 yaitu dari 7,0 ke 6,2. Selanjutnya pH berangsur-angsur naik dari 6,2 sampai 6,8 (Gambar 4). Fenomena ini menunjukkan bahwa adanya *ammonium bicarbonate* dalam jumlah yang banyak di dalam digester.

Pada pencernaan campuran, pH substrat mengalami penurunan di awal fermentasi (dari hari ke-0 sampai hari ke-6) yaitu dari 7,0 ke 5,1. Setelah itu, kondisi pH stabil pada nilai 5,1 (Gambar 4). Fenomena ini membuktikan bahwa produksi VFA dan *ammonium bicarbonate*

berkesinambungan dan dalam jumlah yang seimbang, sehingga pH substrat cenderung stabil



Gambar 4. Profil pH pada berbagai komposisi LV:LCT
Keterangan: LV = Limbah Vinase, LCT = Limbah Cair Tahu

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pencernaan campuran (co-digestion) dapat menghasilkan total biogas yang lebih banyak daripada pencernaan limbah tunggal. Total biogas yang dihasilkan pada substrat campuran sebesar 125,5 mL, sementara pada substrat limbah vinase sebesar 88,5 mL dan pada substrat limbah cair tahu sebesar 41,5 mL. Selain itu, pada substrat campuran limbah vinase dan limbah cair tahu, profil pH juga lebih stabil.

5. Daftar Pustaka

- Andreozzi R., Caprio V., Insola A., Marotta R., 1999, Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery, Today Vol. 53, hal 51–59.
- Budiyono, Syaichurrozi I., Sumardiono S., 2014, Effect of Total Solid Content to Biogas Production Rate from Vinasse, International Journal of Engineering Vol. 27, No. 2, hal 177-184.
- Deublein D., Steinhauser A., 2008, Biogas from Waste and Renewable Resources, Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Elbeshbishy E., Nakhla G., 2012, Batch anaerobic co-digestion of proteins and carbohydrates, Bioresource Technology Vol. 116, hal 170–178.
- FAPRI, 2008, FAPRI 2008 U.S. and World Agricultural Outlook. <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2008/text/OutlookPub2008.pdf>
- Kayhanian, M., 1994, Performance of a high-solids anaerobic digestion process under various ammonia concentrations, J. Chem. Tech. Biotechnol. Vol. 59, hal 349–352.
- Mata-Alvarez J., Mace S., Llabres P., 2000, Anaerobic digestion of organic wastes. An overview of research achievements and perspectives, Bioresour. Technol. Vol. 74, hal 3–16.
- Myrasandri P., Syafila M., 2012, Degradasi Senyawa Organik Limbah Cair Tahu dalam Anaerobic Baffled Reactor. <http://www.ftsl.itb.ac.id/wp-content/uploads/2012/07/15308036-Putri-Myrasandri.pdf>
- Speece R.E., 1996, Anaerobic Technology for Industrial Wastewaters, USA: Archae Press, ISBN:0-9650226-0-9.
- Sung S., Liu T., 2003, Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion, Chemo-sphere Vol. 53, No. 1, hal 43–52.
- Syaichurrozi I., Budiyono, Sumardiono S., 2013, Predicting Kinetic Model of Biogas Production and Biodegradability Organic Materials: Biogas production from Vinasse at Variation of COD/N, Bioresource Technology Vol. 149, hal 390-397.
- Syaichurrozi I., Budiyono, Sumardiono S., 2015, Triple Batch Digesters in Series Method to Analyze Biogas Potential from Bioethanol Vinasse, World Chemical Engineering Journal Vol. 1, No. 1, hal 1-5
- Syaichurrozi I., Budiyono, Sumardiono S., Sasongko S.B., 2014, Anaerobic Biotechnology: Pengaruh Perlakuan pH dan Rasio COD/N terhadap Produksi Biogas dari Limbah Vinasse, Jurnal Integrasi Proses Vol. 4, hal 24-31

- Tang Y-Q, Fujimura Y., Shigematsu T., Morimura S., Kida K., 2007, Anaerobic treatment performance and microbial population of thermophilic upflow anaerobic filter reactor treating awamori distillery wastewater, *J Biosci Bioeng* Vol. 104, No. 4, hal 281–287.
- Yadvika S., Sreekrishnan T.R., Kohli S., Ratna V., 2004, Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques- a review, *Bioresource Technology* Vol. 95, hal 1-10.